

Tunel – wyzwania dla zespołu naukowego i projektowego

Prof. dr hab. inż. Michał Topolnicki, Politechnika Gdańska

Finis coronat opus – koniec wieńczy dzieło, w tym przypadku pierwszy w Polsce, drążony tunel drogowy pod dnem rzeki. Obiekt klasy "Large" ze względu na średnicę drążenia obu rur tunelu, wynoszącą około 12,5 m. Do tego wykonywany w bardzo trudnych warunkach geologiczno-inżynierskich i hydrogeologicznych, jakie panują w rejonie delty Wisły, charakteryzujących się na przemian występującymi warstwami gruntów słabonośnych i nośnych oraz dwoma poziomami wodonośnymi, z których górny, czwartorzędowy, podlega silnym wpływom zmian poziomu wody w Martwej Wiśle, co dodatkowo komplikuje sytuację. Istotnym utrudnieniem było także usytuowanie tunelu w rejonie czynnych terenów portowych oraz jego stosunkowo płytkie zagłębienie, biorąc pod uwagę, że korona tunelu drążonego przebiega zaledwie około 9 m pod dnem rzeki i około 1 m poniżej palowych podpór nabrzeża portowego. Sam tunel drążony maszyną TBM, pomimo długości 1072,5 m, stanowił jednak dopiero "połowę" całego zadania budowlanego. Potrzebne były bowiem jeszcze długie i szerokie wykopy budowlane, o łącznej długości 1082,5 m i objętości około 420 tys. m³ (co odpowiada powierzchni 60 boisk piłkarskich, zasypanych na wysokość 1 m), których dno w rejonie komory startowej i wyjściowej maszyny TBM znajdowało się około 20 m poniżej poziomu wody gruntowej. Do tego dodać należy także skomplikowane trzypoziomowe rondo, o średnicy 130 m, jedno z największych w kraju.

Już na podstawie tak ogólnej charakterystyki inwestycji można wyciągnąć wniosek, że projektantów, wykonawców i inwestora czekało bardzo trudne zadanie do wykonania oraz liczne wyzwania natury technicznej, logistycznej i organizacyjnej, które należało pokonać. Koncentrując się na aspektach technicznych trzeba przede wszystkim podkreślić znaczenie i twórczy wkład całego zespołu projektowego, który składał się z młodych inżynierów biura Europrojekt Gdańsk, w większości absolwentów Politechniki Gdańskiej, oraz specjalistów z renomowanej niemieckiej firmy projektowej SSF Ingenieure AG z Monachium. Projektanci podjęli się nie tylko pionierskiego zadania w Polsce, ale także sprawowali nadzór autorski w czasie budowy tunelu. Oznaczało to konieczność zmierzenia się z nowymi

wyzwaniami, poszerzenia wiedzy inżynierskiej i zdobycia nowych umiejętności praktycznych. Realizację robót powierzono firmie hiszpańskiej OHL, doświadczonej w budowie tuneli, z którą współpracowały liczni podwykonawcy i dostawcy materiałów. Również w tym przypadku bardzo duży udział mieli polscy inżynierowie i pracownicy.

Współpraca naukowców i doświadczonych specjalistów z zespołem projektowym rozpoczęła się już we wczesnym etapie przygotowania inwestycji, kiedy chodziło o uzasadnienie wyboru optymalnego rozwiązania przeprawy drogowej przez Martwą Wisłę z uwzględnieniem oddziaływania inwestycji na istniejącą infrastrukturę drogową, portową, stoczniową oraz środowisko. Nie mniej ważne było dokonanie eksperckiej oceny oraz interpretacji warunków geotechnicznych i hydrogeologicznych wzdłuż trasy planowanego tunelu, łącznie z określeniem parametrów fizycznych i mechanicznych zidentyfikowanych warstw gruntu w oparciu o doświadczenia regionalne, co miało bezpośredni wpływ na przyjęte rozwiązania konstrukcyjne tunelu, dobór technologii wiercenia i odpowiedniej głowicy TBM oraz na bezpieczeństwo i koszty inwestycji.

Uwzględniając rolę i znaczenie przyjęcia prawidłowych rozwiązań projektowych i wykonawczych dla bezpieczeństwa budowy tunelu oraz jego długoletniej eksploatacji, zarząd Gdańskich Inwestycji Komunalnych podjął decyzję o sformalizowaniu współpracy z ekspertami oraz powołał, z chwilą rozpoczęcia budowy, Zespół Konsultantów Naukowych pod przewodnictwem profesora Bolesława Mazurkiewicza z Politechniki Gdańskiej, który był zaangażowany w prace projektowe także wcześniej. Zespołowi Konsultantów powierzono zadanie opiniowania zmian projektowych wprowadzanych w trybie projektowania aktywnego, wynikających z potrzeby dostosowania rozwiązań do technologii wykonania robót przyjętych przez wykonawcę, weryfikacji dokumentacji wykonawczej, wcześniej zaakceptowanej przez Nadzór Autorski, oraz oceny jakości robót na podstawie monitoringu i badań kontrolnych, gdy zachodziła taka potrzeba. W praktyce wypracowanej na budowie Zespół Konsultantów na bieżąco współpracował z projektantami i wykonawcami robót oraz wspomagał Inżyniera

projektu, co przyspieszało podejmowanie decyzji merytorycznych. W ramach krótkiej informacji nie można przedstawić pełnej działalności Zespołu. Z tego powodu wybrano tylko kilka przykładowych zagadnień, które ilustrują rozpatrywane sprawy i ich znaczenie dla realizowanej inwestycji.

Biorąc pod uwagę skomplikowane przepływy wód podziemnych w rejonie tunelu, stymulowane bezpośrednim oddziaływaniem Martwej Wisły, spływem wody z terenów wysoczyzny w kierunku Zatoki oraz eksploatacją wód podziemnych, konieczne było m.in. ustalenie, czy cały obiekt, działając jak podziemna bariera, może znacząco zmienić naturalny przepływ wód podziemnych i powodować okresowe podtapianie obszaru portowego w rejonie tunelu. Wnikliwe analizy, wykonane za pomocą zaawansowanych modeli numerycznych pozwoliły ustalić, że oddziaływanie będzie nieistotne ponieważ prognozowane spiętrzenie poziomu wody przy tunelu nie przekroczy 3 cm w niekorzystnych przypadkach. W efekcie końcowym oceny eksperckiej pozwoliły na wyeliminowanie konieczności budowy złożonych przepustów wody gruntowej pod tunelem, kłopotliwych nie tylko do wykonania ale również utrzymania w stanie technicznej sprawności.

Innym przykładem było wdrożenie istotnych zmian w zakresie wykonania głębokich i dużych wykopów po obu stronach tunelu drążonego. W podstawowym projekcie założono wykonanie wykopów metodą mokrą, która polega na wybieraniu gruntu pod wodą oraz wymaga wykonania korka betonowego na dnie wykopu za pomocą betonowania podwodnego, który musi być dodatkowo kotwiony w celu zabezpieczenia przed wyparciem hydraulicznym. Jakkolwiek technologia wykonywania wykopów na mokro należy do klasycznych rozwiązań geotechnicznych i była stosowana w Polsce wielokrotnie, to jednak nie w takiej skali. Wykonawca robót, obawiając się trudności wykonania wykopów pod wodą i ryzyka nieszczelności korka, przyjął zamienną propozycję wykonania wykopów metodą na sucho, zgłoszoną przez podwykonawcę robót geotechnicznych (Keller Polska). Zaproponowane rozwiązanie, którego elementy były nowatorskie w skali międzynarodowej, wiązało się z całkowitym przeprojektowaniem konstrukcji tymczasowego zabezpieczenia wykopów na czas robót oraz zastosowaniem dodatkowych ekranów poziomych pod dnem wykopu, wykonywanych za pomocą iniekcji strumieniowej, które spełniały jednocześnie funkcję przesłony przeciwfiltracyjnej oraz rozpory konstrukcyjnej ścian szczelinowych. Po wnikliwym sprawdzeniu tego rozwiązania Zespół Konsultantów wyraził pozytywną opinię na temat możliwości jego wdrożenia i podkreślił, że przyczyni się ono do poprawienia bezpieczeństwa wykonania wykopów oraz podwyższenia poziomu kontroli i jakości robót.

Dzięki staraniom Zespołu Konsultantów wdrożono także do praktycznego stosowania zasadę, że szczególnie istotne wyniki prognoz inżynierskich powinny być sprawdzane za pomocą weryfikacyjnych obliczeń metodami lub programami alternatywnymi, w tym także z uwzględnieniem modeli MES. Przykładem mogą być zaawansowane analizy sprawdzania potrzebnej grubości i stopnia zbrojenia tubingów albo analizy osiadania terenu i obiektów budowlanych w wyniku drążenia tunelu, czemu towarzyszą dodatkowe, w stosunku do nominalnej objętości tunelu, ubytki objętości gruntu. Kompleksowość tych analiz polegała na jednoczesnym wyznaczaniu sił wewnętrznych w obudowie tunelu i odkształceń podłoża, przy czym zasadniczą trudnością modelowania było właściwe uwzględnienie nieliniowego charakteru odprężenia podłoża w wyniku drążenia. Bardzo ważne znaczenie dla realizacji robót miało także zalecenie pełnego wdrożenia metody obserwacyjnej w celu bieżącego korygowania założeń projektowych i wykonawczych w nawiązaniu do wyników pomiarów, badań kontrolnych i analiz przebiegu robót.

Kolejnym przykładem mogą być wnioski Zespołu Konsultantów związane z opiniowaniem sposobu wykonania tuneli poprzecznych, drążonych metodą górniczą, które okazały się najtrudniejszymi elementami konstrukcyjnymi do wykonania na tej budowie. Biorąc pod uwagę nadrzędne znaczenie bezpieczeństwa tych ryzykownych robót zalecono odstępianie od wykonania tuneli poprzecznych pod osłoną zeskalenia gruntu za pomocą iniekcji na rzecz zastosowania technologii zamrażania gruntu, mimo że jest kosztowniejsza i przedłuża czas wykonania robót.

Działalność Zespołu Konsultantów Naukowych znalazła uznanie nie tylko u inicjatorów jego powołania, ale również u projektantów i wykonawców robót, a ukończenie budowy tunelu i bezpieczne wykonanie wszystkich zaplanowanych prac stanowi dla niego najlepszą rekomendację. Po raz kolejny w praktyce budowlanej okazało się, że uzasadnione i możliwe jest wdrażanie racjonalnych zmian projektowych i wykonawczych w czasie budowy, zgodnych z wiedzą inżynierską i dobrze służących inwestycji, nawet jeżeli jest realizowana w sztywnej formule zamówień publicznych. Nie należy się obawiać zmian ani a priori kwalifikować je jako niedopuszczalne, jeżeli są uzasadnione i pozytywnie opiniowane przez niezależnych ekspertów. Wdrożenie opisanego modelu aktywnej współpracy naukowców, specjalistów, projektantów i wykonawców oraz Inżyniera wymaga jednak dogłębnego zrozumienia specyfiki prowadzenia trudnych inwestycji budowlanych, a także determinacji osób odpowiedzialnych za ich realizację. Pod tym względem budowa tunelu pod Martwą Wisłą może być przykładem dla innych dużych inwestycji w Polsce.